



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 53 135 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**G 01 L 17/00**  
G 01 L 9/12  
B 60 C 23/00

⑳ Aktenzeichen: 198 53 135.4  
㉑ Anmeldetag: 18. 11. 1998  
㉒ Offenlegungstag: 25. 5. 2000

DE 198 53 135 A 1

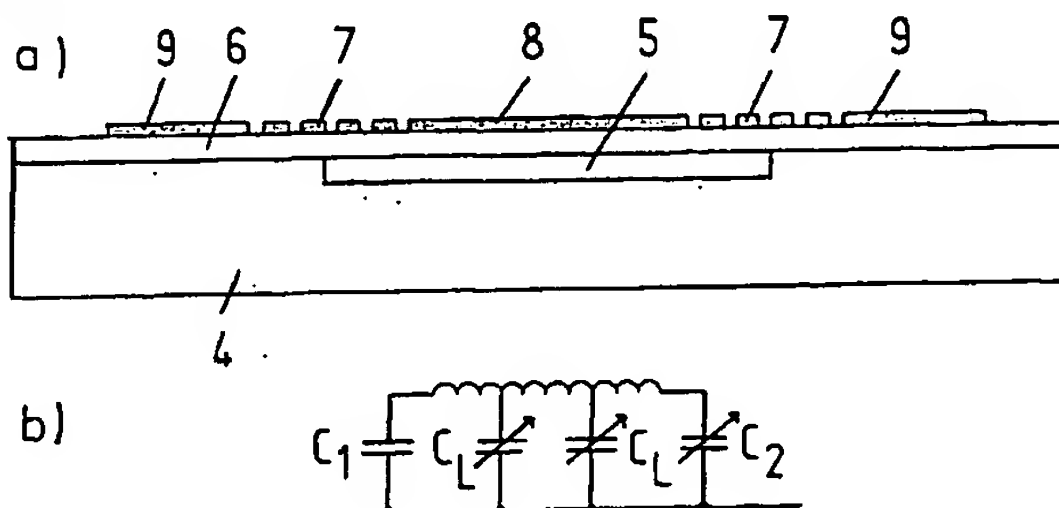
㉓ Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉔ Erfinder:  
Funk, Karsten, Dr., 70195 Stuttgart, DE; Laermer,  
Franz, Dr., 70437 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

㉕ **Vorrichtung und Verfahren zur drahtlosen Druckmessung**

㉖ Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur drahtlosen Messung des in einem beweglichen Gegenstand herrschenden Drucks, beispielsweise des Luftdrucks in einem Fahrzeugreifen. Dabei ist ein mit dem beweglichen Gegenstand fest verbundener Drucksensor und eine unabhängig vom beweglichen Gegenstand angeordnete Auswerteelektronik vorgesehen. Der Drucksensor ist ein kapazitiver Drucksensor, der zusammen mit einer Spule einen Schwingkreis bildet. Weiterhin ist ein unabhängig vom beweglichen Gegenstand angeordneter Sender zur Ausstrahlung eines Multifrequenzsignals vorgesehen, wobei eine der Frequenzen des Multifrequenzsignals der Resonanzfrequenz des Schwingkreises entspricht. Mittels der Auswerteelektronik wird der in dem beweglichen Gegenstand herrschende Druck durch eine Messung der Resonanzfrequenz des Schwingkreises ermittelt.



DE 198 53 135 A 1

## Beschreibung

## Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung zur drahtlosen Messung des in einem beweglichen Gegenstand herrschenden Drucks mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen.

Eine Kontrolle des Reifeninnendrucks ist für die Fahrzeugsicherheit eines Kraftfahrzeugs zwingend erforderlich. In der Automobilindustrie gibt es daher ein großes Interesse an Reifendrucksensoren. Problematisch ist dabei aber die Verkabelung, d. h. der Anschluß des Sensors an die entsprechenden Auswerteelemente im Fahrzeuginneren.

Drahtlose Sensorsysteme bieten hier den Vorteil, daß die notwendige Kontaktierung nicht mittels Schleifringen durchgeführt werden muß. Bekannte drahtlose Sensorsysteme beruhen auf einer zweiteiligen elektronischen Schaltung, deren erster Teil fest mit dem Rahmen des Wagens verbunden ist und die Verbindung zum Auswerteelement vornimmt und deren zweiter Teil mit einem Sensorelement, welches mit dem sich drehenden Fahrzeugrad bewegt wird, verbunden ist. Der erste Schaltungsteil strahlt elektrische Energie zur Speisung des Sensors ab und empfängt die vorverarbeiteten Sensorsignale, der zweite Teil nimmt die elektrische Versorgungsenergie auf und wandelt die mechanische Meßgröße (Reifendruck) in ein elektrisches Signal um, das dann zum ersten Teil der Schaltung drahtlos übertragen wird. Derartige Systeme sind im allgemeinen relativ teuer und aufgrund der Elektronik am Sensor bezüglich des Temperaturbereiches begrenzt.

## Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäßen Gegenstände mit den kennzeichnenden Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche haben demgegenüber den Vorteil, daß das Sensorelement, welches lediglich aus einem mechanischen Drucksensorelement und einer darauf aufgebauten Spule besteht, klein, preisgünstig und sehr robust realisierbar ist. Weiterhin kann die gesamte Auswerteelektronik in einem geschützten Gehäuse an unkritischer Stelle in der Nähe des Fahrzeugrades, aber getrennt von diesem, platziert sein kann. Die Auswerteelektronik ist folglich nicht zusammen mit dem sich mit dem Fahrzeugrad drehenden Sensor vorgesehen, so daß auch der Temperaturbereich, in welchem die beanspruchte Vorrichtung bzw. das beanspruchte Verfahren arbeiten können, vergrößert ist.

## Zeichnungen

Ein Ausführungsbeispiel für die Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 ein Blockschaltbild zur Erläuterung der grundsätzlichen Wirkungsweise der Erfindung,

Fig. 2 ein erstes Ausführungsbeispiel für einen Drucksensor, und

Fig. 3 ein zweites Ausführungsbeispiel für einen Drucksensor.

## Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Die Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild zur Erläuterung der grundsätzlichen Wirkungsweise der Erfindung. Mittels eines Senders 1 wird ein Multifrequenzsignal bzw. Frequenzgemisch ausgestrahlt. Der Sender 1 ist fest mit dem Rahmen eines Kraftfahrzeugs verbunden und unabhängig von einem

Rad des Kraftfahrzeugs angeordnet, dessen Luftdruck gemessen werden soll. Bei diesem Sender 1 handelt es sich um einen Rauschsignalsender, der ein Rauschsignal abstrahlt, welche jedoch die Resonanzfrequenz eines LC-Resonators 2 sicher überdeckt. Der LC-Resonator 2 weist einen kapazitiven Drucksensor auf, der zusammen mit einer Spule einen Schwingkreis bildet.

Durch das genannte Multifrequenzsignal wird der Schwingkreis bei seiner Resonanzfrequenz zum Schwingen angeregt. Diese Frequenz wird also mittels der Sensorspule absorbiert und wieder abgestrahlt. Die Resonanzfrequenz ist abhängig von dem im Reifeninneren herrschenden Druck und verändert sich dann, wenn sich auch der Reifeninnendruck ändert.

Das abgestrahlte Signal wird von der Auswerteelektronik 3 empfangen, in welcher zur Messung des Reifeninnendrucks die Resonanzfrequenz des Schwingkreises durch Auswertung des empfangenen Signals ermittelt wird.

Die Resonanzfrequenz wird vorzugsweise durch eine Frequenzmessung mittels eines Zählers, einer Periodendauermessung oder einer Schwebungsfrequenzmessung ermittelt. Diese Auswerteeoption empfiehlt sich insbesondere bei einem breitbandig zugeführten HF-Rauschsignal, wobei das vom LC-Resonator monochrom wieder abgestrahlte Signal empfangen und hinsichtlich seiner Frequenz genau bestimmt wird.

Alternativ dazu kann dem LC-Resonator 2 auch ein gechirptes Signal zugeführt werden, bei welchem es sich um ein mit einer charakteristischen periodischen Zeitfunktion (Sägezahnsignal) frequenzmoduliertes Hochfrequenzsignal handelt, oder auch ein gewobbeltes Hochfrequenzsignal, welches periodisch in seiner Frequenz, beispielsweise nach einer sinusförmigen Zeitfunktion, aufwärts und abwärts gefahren wird und den für den Sensor relevanten Frequenzbereich überdeckt.

Durch dieses Signal wird der Schwingkreis kontinuierlich oder periodisch genau auf derjenigen Frequenz des Frequenzgemisches bzw. des gechirpten oder gewobbelten Signals zum Schwingen angeregt, die der Resonanzfrequenz des Schwingkreises entspricht.

Bei einem gewobbelten oder gechirpten Hochfrequenzsignal ist es auch möglich, die momentan von der Auswerteelektronik 3 registrierte Signalintensität zu erfassen und beim Auftreten eines Amplitudenmaximums die Sendefrequenz über eine Ermittlung der Wobbelspannung oder durch eine Frequenzmessung der Sendefrequenz genau festzustellen.

Der Sender wird in seiner Frequenz aufwärts und abwärts gewobbelt und bei jedem detektierten Signalamplitudenpeak des Empfängers über die Wobbelspannung festgestellt, bei welcher Sendefrequenz die Abstrahlung des LC-Resonators 2 maximal wird, d. h. welche Sendefrequenz der Resonanzfrequenz des LC-Resonators 2 entspricht. Entsprechendes gilt bei einem gechirpten HF-Sendersignal.

Ein Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, daß sie besonders einfach zu realisieren ist. Es ist lediglich notwendig, empfängerseitig die Signalamplituden zu registrieren. Man benötigt keinen extrem schmalbandigen Empfänger, sondern kann breitbandig arbeiten. Man mißt letztlich nur Gleichspannungssignale, was entweder hinter dem Demodulator oder über die Regelspannung der HF-Empfängerstufe erfolgen kann. Alternativ dazu ist es auch möglich, die Empfangsfrequenz eines schmalbandigen HF-Empfängers synchron mit der Sendefrequenz zu wobbeln, so daß der Empfänger stets bei der Sendefrequenz seine maximale Empfindlichkeit besitzt und somit die vom LC-Resonator abgestrahlten Signale mit minimalem Rauschen detektieren kann.

Zur Verbesserung des empfangsseitigen Meßvorganges wird in vorteilhafter Weise periodisch zwischen Anregungs- und Empfangsphasen gewechselt. Während der Anregungsphasen wird der Sender auf eine der beschriebenen Arten den LC-Resonator 2 in seiner Resonanzfrequenz anregen und Schwingungsenergie im Resonator aufbauen. Während der anschließenden Empfangsphasen wird die Anregung abgeschaltet und man läßt den Schwingkreis nach dieser Abschaltung der Anregung auf seiner Eigenfrequenz ausschwingen. Während dieses Ausschwingens strahlt der Schwingkreis seine Energie ab, so daß die abgestrahlte Leistung empfangen und frequenzmäßig bestimmt werden kann. Durch diesen Wechsel zwischen Anregungs- und Empfangsphasen wird in vorteilhafter Weise erreicht, daß die vom Sender abgestrahlte Hochfrequenzleistung während der Empfangsphasen den Empfängerbetrieb nicht störend beeinflussen kann. Folglich kann die vom LC-Resonator 2 wieder abgestrahlte Leistung besonders empfindlich detektiert und exakt ausgewertet werden. In den Empfangsphasen liegt nach alledem nur die vom LC-Resonator 2 wieder abgestrahlte Leistung vor. Andere HF-Felder, wie etwa aus dem Sender 1, sind nicht vorhanden.

Zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens kann auch ein Dipmeter verwendet werden. Ein Dipmeter ist ein hochempfindliches Meßgerät zur Messung der Resonanzfrequenz von LC-Resonatoren. Es besitzt einen frequenzvariablen Sender, der eine hochfrequente Welle von frei definierter Frequenz abstrahlt. Kommt es in der Nähe des Senders zu einer Absorption der hochfrequenten Strahlung, d. h. wird die Resonanzfrequenz eines in der Nähe des Senders befindlichen Resonanzkreises, in der Regel eines LC-Resonanzkreises, getroffen, so ändert sich ein interner Strom des Senders in charakteristischer Weise. Es kommt zu einem Dippen eines für den Energieentzug aus dem Strahlungsnahfeld des Senders charakteristischen Stroms. Bei diesem kann es sich um den Ruhestrom eines entsprechenden Transistoroszillators oder um die HF-Spannung direkt an der Sendespule handeln, die mit der Dämpfung, d. h. dem Energieentzug, korreliert. Wird ein derartiges Dipmeter in seiner Frequenz periodisch über die Resonanzfrequenz des LC-Resonators gewobbelt, dann wird jedesmal beim Überstreichen der momentanen LC-Resonanzfrequenz der charakteristische Dip auftreten. Die momentane Abstrahlfrequenz ist damit gleich der LC-Resonanzfrequenz und gibt somit den anliegenden Druck am Sensor wieder. Die Frequenzbestimmung kann aus der Wobbelspannung über die Spannungs-/Frequenzcharakteristik des Dipmeters erfolgen oder man benutzt – wie oben beschrieben – eines der bekannten Frequenzmessverfahren.

Die Fig. 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel für einen LC-Resonator. Bei diesem bildet ein Substrat 4 eine Elektrode des Kondensators, während die mittig in der Flachspule 7 angeordnete Fläche 8 als zweite Kondensatorplatte dient. In das Substrat 4 wurde eine Vertiefung 5 eingebracht, die mittels eines Dielektrikum 6 so verschlossen wurde, daß das als Membran dienende Dielektrikum einen Referenzdruck einschließt und bei einer Außendruckveränderung ausgebeult wird. Als Dielektrikum eignen sich Kunststofffolien, Festresistfolien, welche über die Kaverne 5 auflaminiert werden, aufgebraute und mittels Opferschichttechnik anschließend wieder unterätzte Siliziumoxid- oder -nitridschichten. Man kann auch eine Polysiliziummembran durch Abscheiden über Oxid, selektives Unterätzen mittels Opferschichtätztechnik usw., dazu verwenden, eine Kaverne einzuschließen. Weiterhin ist es möglich, mittels Silikon-Fusion-Bonding-Techniken (SFB) einen Siliziumwafer gegen einen zweiten vorstrukturierten Siliziumwafer mit einem Zwischenoxid zu bonden und wieder auf Membranstärke

abzudünnen. Hierfür existieren verschiedene Techniken, die neben hochpräzisen Schleif- und Polierverfahren auch Ätzstoptechniken mittels vergrabener Ätzstoppschichten ( $p^{++}$ -Schichten) oder einer  $p^{++}$ -Oberflächensiliziumschicht, die nach dem Rückätzen als elektrisch hochleitfähige Membran dient, umfassen. Bei Verwendung einer Siliziummembran würde man die Spule 7 neben der strukturierten Membran oder um die strukturierte Membran herum auf dem Zwischenoxid anordnen, wobei das Zwischenoxid als elektrischer Isolator zwischen der Spule und dem Substratwafer dient. Im letzteren Fall würde man ein Ende der Spule an der Membran elektrisch anschließen und das andere Ende der Spule vorzugsweise am Substratmaterial über ein Kontaktloch bzw. eine Durchkontaktierung durch das Isolationsoxid anbringen. Die Substratkontaktierung kann auch entfallen und das betreffende Spulenende kapazitiv an das Substrat angekoppelt werden.

In vorteilhafter Weise wird über die gesamte Anordnung eine Passivierschicht und elektrische Isolationsschicht aufgebracht, welche vorzugsweise aus Siliziumoxid oder Siliziumnitrid oder einer Schichtfolge aus beiden Materialien besteht. Bei Verwendung von Polymermembranen wird die Passivierung vorzugsweise durch Lackschutzschichten hergestellt.

In der Fig. 2a ist ein Resonator gezeigt, bei welchem das elektrisch leitende Substrat 4 als Verbindung zwischen einem Festkondensator (Platte über Festland = C1) und dem druckabhängigen Kondensator dient, welcher die mittig in der Flachspule 7 angeordnete Fläche 8 bzw. die Membranplatte als Kondensatorplatte aufweist und den Kondensator C2 bildet. Die Flachspule 7 hat über ihre Länge verteilt ebenfalls eine kapazitive Kopplung zum Substrat 4. Dies ist in der Fig. 2b angedeutet, die das elektrische Ersatzschaltbild des Resonators gemäß Fig. 2a zeigt. Die genannte kapazitive Kopplung ist dort angedeutet mit den Kapazitäten CL. Diese kapazitive Kopplung hat aber auf die Resonatoreigenschaften keine negativen Auswirkungen. Diese Form des Resonatoraufbaus hat den Vorteil, daß das Dielektrikum 6 als geschlossene Schicht bestehen bleibt und so ein Strukturierungsschritt für die Membran gespart werden kann.

Die Fig. 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel für einen LC-Resonator. Dieses unterscheidet sich vom ersten Ausführungsbeispiel insbesondere dadurch, daß das Dielektrikum 6 unterbrochen ausgeführt ist und durch diese Unterbrechung eine Kontaktierung 10 des Substrates 4 erfolgt. Dies hat den Vorteil einer niederohmig angebundenen Flachspule 7, so daß es zu keinen elektrostatischen Aufladungen kommen kann, die sonst unter Umständen das Dielektrikum zerstören könnten.

Die Fig. 3b zeigt ein elektrisches Ersatzschaltbild zu dem Resonator gemäß Fig. 3a. Dabei ist die kapazitive Kopplung der Flachspule 7 zum Substrat 4 wiederum durch die Kapazitäten CL angedeutet. C1 ist der Kondensator, der das Substrat 4 als eine Elektrode und die mittig in der Flachspule 7 angeordnete Fläche 8 als zweite Elektrode bzw. Kondensatorplatte aufweist. Die Fig. 3c, d und e zeigen eine perspektivische Darstellung der Flachspule 7, der Membran 6 und des Substrates 4.

Die Flachspule besteht beispielsweise aus Aluminium, was der Standardmetallisierung in Halbleiterprozessen entspricht. Sie ist mittig auf dem Hohlraum im Substrat 4 angeordnet. Die Membran 6 besteht beispielsweise aus Silizium und ist mit Siliziumdioxid als Isolator versehen. Bei dem Substrat 4 handelt es sich beispielsweise um einen Siliziumwafer.



1. Vorrichtung zur drahtlosen Messung des in einem beweglichen Gegenstand herrschenden Drucks, mit einem mit dem beweglichen Gegenstand fest verbundenen Drucksensor und einer unabhängig vom beweglichen Gegenstand angeordneten Auswerteelektronik, welche zur Auswertung von vom Drucksensor abgeleiteten und drahtlos übertragenen Signalen vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß
  - der Drucksensor ein kapazitiver Drucksensor ist, der zusammen mit einer Spule einen Schwingkreis bildet,
  - die Vorrichtung einen unabhängig vom beweglichen Gegenstand angeordneten Sender (1) zur Ausstrahlung eines Multifrequenzsignals aufweist, wobei eine der Frequenzen des Multifrequenzsignals der Resonanzfrequenz des Schwingkreises entspricht, und
  - die Auswerteelektronik (3) zur Messung des in dem beweglichen Gegenstand herrschenden Drucks die Resonanzfrequenz des Schwingkreises ermittelt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Drucksensor einen Substratkörper (4) aufweist, welcher mit einer Vertiefung (5) versehen ist, daß die Vertiefung (5) mittels eines als Membran dienenden Dielektrikums (6) verschlossen ist, wobei in der dadurch gebildeten Kaverne ein Referenzdruck besteht, und daß der Drucksensor weiterhin eine auf dem Dielektrikum (6) angeordnete Flachspule (7) aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Dielektrikum (6) aus einer Kunststoffolie, einer Festresistfolie, einer Siliziumoxidschicht, einer Siliziumnitridschicht oder einer anderen elektrisch isolierenden Schicht besteht.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Dielektrikum (6) durchgehend ausgebildet ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Dielektrikum (6) mittels einer Durchkontaktierung (10) unterbrochen ausgebildet ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–5, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteelektronik (3) ausschließlich ortsgetrennt vom beweglichen Gegenstand angeordnet ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–6, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteelektronik (3) einen Frequenzmesser aufweist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–6, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteelektronik (3) einen Amplitudendetektor aufweist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–8, dadurch gekennzeichnet, daß der Sender (1) ein Rauschsignalsender ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–8, dadurch gekennzeichnet, daß der Sender (1) ein Wobbel-signalsender oder ein Sender zur Erzeugung eines ge-chirpten Signals ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–10, dadurch gekennzeichnet, daß der Sender (1) zur periodischen Ausstrahlung des Multifrequenzsignals in Anregungszeitintervallen und die Auswerteelektronik (3) zum periodischen Empfang der vom Schwingkreis abgestrahlten Signale in Ausschwingzeitintervallen vorgesehen ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–8, dadurch gekennzeichnet, daß sie ein Dipmeter aufweist.

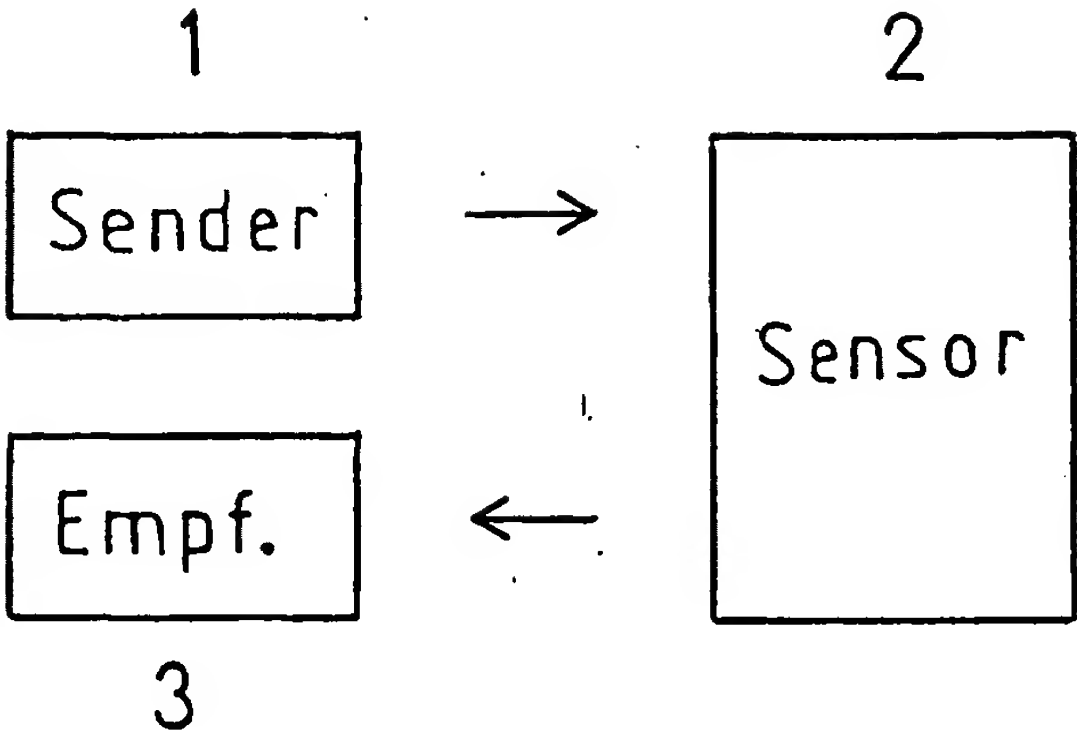
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–12, dadurch gekennzeichnet, daß der bewegliche Gegenstand ein Fahrzeugreifen ist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–13, dadurch gekennzeichnet, daß sie mit einer Passivierschicht versehen ist.
15. Verfahren zur drahtlosen Messung des in einem beweglichen Gegenstand herrschenden Drucks, bei welchem
  - mittels eines unabhängig vom beweglichen Gegenstand angeordneten Senders ein Multifrequenzsignal ausgestrahlt wird, wobei eine der Frequenzen des Multifrequenzsignals der Resonanzfrequenz eines Schwingkreises entspricht,
  - das Multifrequenzsignal von einem mit dem beweglichen Gegenstand fest verbundenen kapazitiven Drucksensor empfangen wird, der zusammen mit einer Spule den Schwingkreis bildet, und
  - der im beweglichen Gegenstand herrschende Druck durch eine Ermittlung der Resonanzfrequenz des Schwingkreises gemessen wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der Resonanzfrequenz des Schwingkreises eine Frequenzmessung erfolgt.
17. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der Resonanzfrequenz des Schwingkreises eine Amplitudendetektion erfolgt.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15–17, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausstrahlung des Multifrequenzsignals periodisch in Anregungszeitintervallen und der Empfang der vom Schwingkreis abgestrahlten Signale periodisch in Ausschwingzeitintervallen erfolgt, wobei sich ein Ausschwingzeitintervall zeitlich an ein Anregungszeitintervall anschließt.

---

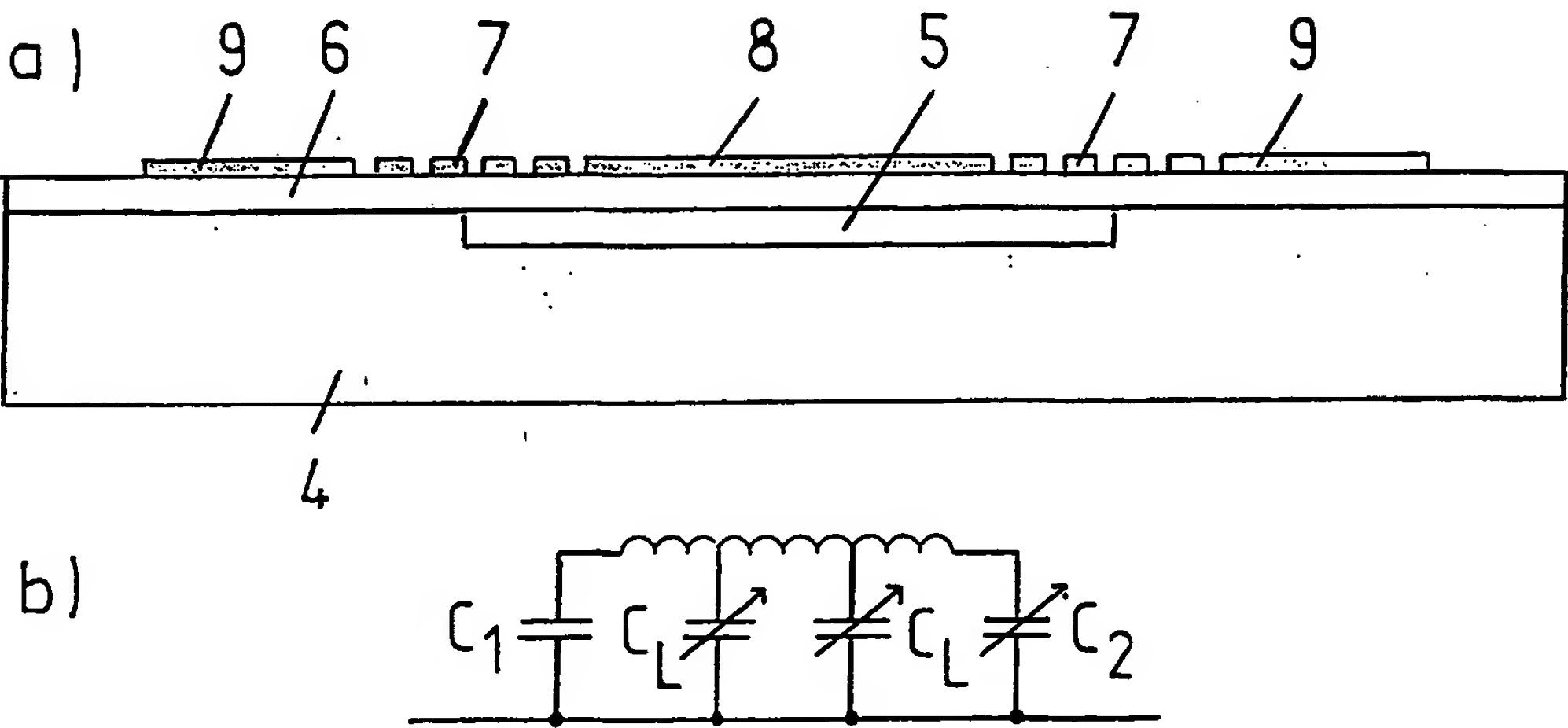
Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

FIGUR 1



FIGUR 2



FIGUR 3

